

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/002990

International filing date: 21 March 2005 (21.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 013 620.3  
Filing date: 19 March 2004 (19.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 April 2005 (28.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

21.03.2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 013 620.3

**Anmeldetag:** 19. März 2004

**Anmelder/Inhaber:** YXLON International Security GmbH,  
22419 Hamburg/DE

**Bezeichnung:** Elektronenfenster für eine Flüssigmetallanode, Flüssigmetallanode, Röntgenstrahler und Verfahren zum Betrieb eines solchen Röntgenstrahlers

**IPC:** H 01 J 35/18

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. April 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

  
Siedt

Elektronenfenster für eine Flüssigmetallanode,  
Flüssigmetallanode, Röntgenstrahler und Verfahren zum Betrieb  
eines solchen Röntgenstrahlers

5

Die Erfindung befasst sich mit einem Elektronenfenster für  
eine Flüssigmetallanode in der Form einer Membran, mit einer  
Flüssigmetallanode, die ein erfindungsgemäßes  
Elektronenfenster aufweist und einen Röntgenstrahler mit  
10 einer solchen Flüssigmetallanode. Darüber hinaus befasst sich  
die Erfindung mit einem Verfahren zum Betrieb eines  
Röntgenstrahlers mit einer Flüssigmetallanode.

15

Zur Erzeugung von Röntgenstrahlen werden seit kurzer Zeit  
Flüssigmetallanoden verwendet. Diese Technologie wird LIMAX  
(Liquid Metal Anode X-Ray) genannt. Bei der Erzeugung von  
Röntgenstrahlen wird die Flüssigmetallanode mit einem  
Elektronenstrahl beschossen. Dadurch erwärmt sich die  
Flüssigmetallanode – wie jede bekannte feste Anode –

20

erheblich. Die entstehende Wärme muss aus dem Fokusbereich  
abgeführt werden, damit sich die Anode nicht überhitzt. Dies  
erfolgt in Flüssigmetallanoden mittels turbulenten  
Massentransports, Konvektions-, wärmeleitungs- und

Elektronendiffusionsvorgängen. Im Fokusbereich, in dem die  
Elektronen auf die Flüssigmetallanode auftreffen, weist das  
Leitungssystem der Flüssigmetallanode ein Elektronenfenster  
auf. Dies besteht aus einer dünnen Metallfolie oder einem  
Diamantfilm, die so dünn ist, dass die Elektronen in ihr nur  
einen geringen Teil ihrer Bewegungsenergie verlieren. Um die  
unterhalb des Elektronenfensters entstehende Wärme

30

abtransportieren zu können, wird das flüssige Metall in einem  
Kreislauf umgewälzt. Die an der Stelle des Fokus entstehende  
Wärme wird somit vom flüssigen Metall mitgenommen. Bei der  
benötigten dünnen Metallfolie besteht das Problem, dass sie  
35 instabil werden kann oder sogar platzt, wenn der  
Flüssigkeitsdruck oder die Scherbeanspruchung eine  
vorgegebene mechanische Grenze überschreitet.

Aufgabe der Erfindung ist es deswegen, ein Elektronenfenster zur Verfügung zu stellen, das eine höhere mechanische Stabilität aufweist und gleichzeitig dünn genug ist, um nur  
5 einen sehr geringen Teil der Elektronenenergie aufzunehmen. Darüber hinaus ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem eine Flüssigmetallanode, in die ein solches Elektronenfenster eingesetzt ist, betrieben werden kann.

10

Die Aufgabe wird durch ein Elektronenfenster mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Dadurch, dass die Membran Erhebungen und Vertiefungen aufweist, ist zum Einen  
15 die Stabilität gegenüber mechanischen Beanspruchungen, wie dem Flüssigkeitsdruck in der Leitung der Flüssigmetallanode und der Scherbeanspruchung, erhöht. Gleichzeitig kann die Membran über den überwiegenden Teil der Fläche weiterhin so dünn ausgeführt sein, dass nur ein geringer Energieverlust der hindurchtretenden Elektronen auftritt. Zum Anderen werden  
20 durch die Erhebungen und Vertiefungen im Fluss des Flüssigmetalls unterhalb des Elektronenfensters verstärkt Verwirbelungen erzeugt. Dadurch wird eine bessere Abfuhr der in der Flüssigmetallanode bei einem Beschuss mit Elektronen entstehenden Wärme erreicht. Als Membran kommen alle dünnen Gegenstände in Betracht, die auf der einen Seite stabil sind und auf der anderen Seite die sie durchdringenden Elektronen möglichst wenig in ihrer Energie schwächen. Bevorzugt werden eine Metallfolie, ein Diamantfilm, ein keramischer Werkstoff oder ein Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid,  
30 als Membran verwendet.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Elektronenfenster eben ausgebildet ist und auf seiner zur Flüssigkeit hin gewandten Fläche eindimensionale oder  
35 zweidimensionale Rippen als Erhebungen aufweist und die Räume dazwischen Vertiefungen sind. Dies stellt eine sehr einfache Art und Weise dar, wie die Stabilität der Membran

beträchtlich gesteigert werden kann. Im Bereich der Rippen, die nur einen geringen Anteil der gesamten Oberfläche der Membran bedecken, entstehen Wirbel im Fluss des Flüssigmetalls.

5

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Elektronenfenster eine Prägestruktur aufweist und sowohl die Erhebungen als auch die Vertiefungen Teilflächen sind, die über Verbindungsflanken miteinander verbunden sind. Eine so ausgebildete dünne Metallfolie kann sehr einfach hergestellt werden, da sie aus einem einzigen Teil geformt werden kann. Die Verwirbelung des Flüssigkeitsstroms der Flüssigmetallanode wird hier durch die Erhebungen und Vertiefungen erreicht.

10

15

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Vertiefungen und/oder die Erhebungen in einer virtuellen regelmäßigen Gitterstruktur angeordnet sind. Dabei ist besonders bevorzugt, dass die Vertiefungen und/oder die Erhebungen als polygonale Einheiten, insbesondere quadratische oder hexagonale Einheiten, ausgebildet sind. Solche geometrischen und symmetrischen Ausgestaltungen sind sehr einfach herzustellen und geben der Membran eine besonders hohe mechanische Stabilität.

20

30

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Elektronenfenster gebogen ausgebildet ist, insbesondere wie ein Ausschnitt eines Zylindermantels. Eine solche Ausgestaltung ist zum Einen sehr einfach herzustellen und zum Anderen auch mechanisch sehr stabil.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Vertiefungen und/oder die Erhebungen eine Höhe im Bereich von 10 bis 250  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 50  $\mu\text{m}$ , haben und die Membran eine Dicke von 5 bis 50  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 20  $\mu\text{m}$ , aufweist. Durch die angegebenen Höhe der Vertiefungen und/oder Erhebungen werden Wirbel erzeugt, die im selben Größenbereich

35

liegen. Dieser Bereich entspricht im Wesentlichen der Reichweite der Elektronen im Flüssigmetall, wenn man von stark relativistischen Elektronen ausgeht. Wirbel von größerem Ausmaß sind nicht nötig, da die im Flüssigmetall erzeugte Wärme nur in dem Bereich entsteht, in den auch die Elektronen vordringen.

Die Aufgabe wird auch durch eine Flüssigmetallanode mit den Merkmalen des Patentanspruchs 9 gelöst.

10

Vorteilhafterweise ist das Elektronenfenster so in die Leitung eingesetzt, dass die Erhebungen zum Inneren der Leitung weisen und mit dem Flüssigmetall in Kontakt sind. Durch das Einsetzen des Elektronenfensters mit den Erhebungen zum Inneren der Leitung wird neben der Steigerung der mechanischen Stabilität der Membran auch gleichzeitig eine erhöhte Verwirbelung des Flüssigmetallstroms in der Flüssigmetallanode erreicht, was zu einem besseren Abtransport des unterhalb des Elektronenfensters im Fokusbereich entstandenen Wärme führt.

15

20

Die weitere Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 11 gelöst.

Besonders vorteilhaft werden dabei die Verwirbelungen an den Erhebungen des Elektronenfensters erzeugt. Durch die Verwirbelung des Flüssigmetallstroms wird – wie oben schon ausgeführt – der Abtransport der entstehenden Wärme in der Flüssigmetallanode unterstützt.

30

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden anhand der in den Figuren dargestellten und nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele erläutert. Dabei zeigen:

35 Fig. 1 einen schematischen Schnitt durch eine Flüssigmetallanode im Fokusbereich,

Fig. 2 eine Draufsicht auf ein erstes erfindungsgemäßes Elektronenfenster,

5 Fig. 3 eine Ansicht eines zweiten erfindungsgemäßen Elektronenfensters und

Fig. 4 einen Längsschnitt durch ein drittes erfindungsgemäßes Elektronenfenster mit gleich großen Erhebungen und Vertiefungen.

10

In Fig. 1 wird ein schematischer Schnitt durch eine Flüssigmetallanode 2 dargestellt. In einer Leitung 9 wird entlang einer Flussrichtung 6 Flüssigmetall gepumpt. Als Flüssigmetall kommt beispielsweise BiPbInSn in Betracht. Im Bereich des Fokus der Flüssigmetallanode 2 trifft ein Elektronenstrahl 3 im Wesentlichen senkrecht auf ein Elektronenfenster 1. Dieses Elektronenfenster 1 ist als eine dünne Membran 4 ausgebildet, die die Energie der Elektronen nur gering schwächt. Die Membran ist im dargestellten Ausführungsbeispiel als eine dünne Metallfolie 4 ausgebildet. Genauso gut ist es möglich, einen Diamantfilm, einen keramischen Werkstoff oder einen Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid, zu verwenden. Die Metallfolie 4 ist so dünn, dass sie den Elektronenstrahl 3 in seiner Energie nur geringfügig abbremst. Sie ist aus einer Wolframlegierung, beispielsweise aus W/Re, gefertigt und weist eine Dicke von 10 µm auf. Die optimale Dicke ist allerdings stark von der Elektronenenergie abhängig. Die Elektronenenergie wird durch das Flüssigmetall aufgenommen und es entsteht Röntgenstrahlung (nicht gezeigt).

30

Gleichzeitig entsteht in dem Gebiet, in dem der Elektronenstrahl 3 seine Energie an das Flüssigmetall abgibt, ein erwärmter Bereich 8. Die Wärme des erwärmten Bereichs muss abgeführt werden, um eine Überhitzung der Flüssigmetallanode 2 zu vermeiden. Die Kühlung erfolgt dadurch, dass das Flüssigmetall über eine Pumpe (nicht

35

gezeigt) durch die Leitung 9 entlang der Flussrichtung 6 umgewälzt wird. Der Abtransport der entstandenen Wärme erfolgt durch Konvektion, thermische Leitung im Flüssigmetall und Elektronendiffusion.

5

Mittels eines erfindungsgemäßen Elektronenfensters 1 (nähere Einzelheiten s. Fig. 2 bis 4) werden aufgrund der Erhebungen 10 und der Vertiefungen 11 in der laminaren Strömung des Flüssigmetalls entlang der Flussrichtung 6 verstärkt

10

Wirbelungen 5 erzeugt. Dies wird anhand des Flussgeschwindigkeitsvektors 7 verdeutlicht. Man erhält dadurch eine gute Abführung der unterhalb der Metallfolie 4 des Elektronenfensters 1 entstandenen Wärme in Richtung der Flussrichtung 6. Um eine solche Durchmischung von kaltem und  
15 heißem Flüssigmetall zu erreichen, und gleichzeitig einen guten Abtransport aufgrund der Pumpleistung zu erhalten, reichen Flussgeschwindigkeiten des Flüssigmetalls im Bereich von einigen  $10 \text{ m s}^{-1}$  aus.

20

In den Figuren 2 bis 4 sind drei unterschiedliche Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Metallfolie 4 dargestellt, die auf der einen Seite zu der oben beschriebenen Wirbelbildung führt und somit zu einer Verbesserung des Abtransports der entstehenden Wärme aus dem erwärmten Bereich 8 beiträgt, aber gleichzeitig auch zu einer erheblichen Erhöhung der mechanischen Steifheit der Metallfolie 4 beiträgt. Diese mechanische Steifheit ist besonders wichtig, da sie den begrenzenden Faktor für die maximale Leistungsstärke bildet, mit der die Röntgenquelle  
30 betrieben werden kann. Wird die mechanische Stabilität der Metallfolie 4 erreicht oder überschritten, wird diese aufgrund des Flüssigkeitsdrucks oder der Scherbeanspruchung instabil oder zerbricht sogar. Es gibt allerdings oberhalb des elastischen Verformungsbereichs bei Metallfolien noch  
35 einen plastischen Verformungsbereich, so dass eine gewisse Sicherheitszone gegeben ist. Dies ist bei einer Membran aus



Keramik nicht der Fall, da diese beim Überschreiten des elastischen Verformungsbereichs zerspringt.

In Fig. 2 ist eine erste erfindungsgemäße Möglichkeit  
5 dargestellt, wie die mechanische Stabilität der Metallfolie 4 erhöht werden kann. Die Metallfolie 4 ist hierbei in einer Draufsicht gezeigt, die in Fig. 1 der Richtung von unten entspricht. Somit ist die dargestellte Fläche dem Flüssigmetall der Flüssigmetallanode 2 zugewandt und mit  
10 diesem in Kontakt. Auf der ebenen Metallfolie 4 sind hexagonale Rippen 12 als eine Art von Stegen ausgebildet. Diese haben eine Höhe von ca. 20 µm. Die Rippen 12 entsprechen damit Erhebungen 10, die über die Vertiefungen 11 herausstehen, welche durch die ebene Metallfolie 4 definiert  
15 sind. Durch diese Rippen 12 wird das Flüssigmetall, das entlang der Flussrichtung 6 an der Metallfolie 4 entlang fließt verstärkt verwirbelt, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Aufgrund der Verwirbelung 5 wird eine gute Vermischung von heißem und kaltem Flüssigmetall erreicht. Die Größe der  
20 Verwirbelungen 5 liegt dabei ungefähr bei der Höhe der Rippen 12. Die hexagonalen Rippen 12 sind auf einem virtuellen regelmäßigen Gitterstruktur angeordnet.

Durch diese zweidimensionale gerippte Struktur wird die Formstabilität im Vergleich zu einer unstrukturierten, planen Metallfolie 15 (s. Fig. 4) erheblich erhöht. Neben der hexagonalen Struktur der Rippen 12 sind ebenso andere polygonale Einheiten möglich, beispielsweise quadratische. Diese sind dann auch bevorzugt auf einer regelmäßigen  
30 Gitterstruktur angeordnet.

In Fig. 3 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Metallfolie 4 dargestellt. Diese ist jedoch nicht auf einer ebenen, sondern auf einer gebogenen  
35 Oberfläche ausgebildet. Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 handelt es sich hierbei um ein quadratisches Muster von Erhebungen 10 und Vertiefungen

11. Man erhält dadurch ein verzerrtes hexagonales Muster (im Unterschied zur Fig. 2). Dies entspricht dem bekannten Fingerhut, den man beispielsweise zum Nähen auf einen Finger aufsetzt.

5

Das in Fig. 4 dargestellte dritte Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Metallfolie 4 weist ebenfalls eine gebogene Oberfläche auf. Anders als eine plane Metallfolie 15 (die als Referenz dargestellt ist) mit – wie in den beiden

10 Ausführungsbeispielen der Fig. 2 und 3 dargestellt – aufgesetzten Rippen 12 ist diese Metallfolie 4 nach einem anderen Prinzip geformt. Die dargestellte Struktur wird beispielsweise durch einen Prägevorgang erreicht. Im Längsschnitt ist gut zu erkennen, dass die Vertiefungen 11  
15 alle auf einer gemeinsamen Oberfläche, die im Wesentlichen auf einem Zylindermantel liegen angeordnet sind. Auch die Erhebungen 10 liegen alle auf einem Zylindermantel jedoch beabstandet zu den Vertiefungen 11. Jeweils nebeneinander liegende Erhebungen 10 und Vertiefungen 11 sind über jeweils  
20 eine Verbindungsflanke 13 miteinander verbunden. Eine solche Struktur wirkt selbststabilisierend, so dass sie eine bedeutend höhere mechanische Stabilität aufweist als die als Referenz angegebene plane Metallfolie 15. Das Flüssigmetall, das entlang der Flussrichtung 6 auf die Erhebungen 10 trifft, wird – genauso wie oben beschrieben – verwirbelt. Dadurch ergeben sich die oben genannten Vorteile für die Abführung der unterhalb des Elektronenfensters 1 entstandenen Wärme.

Im Allgemeinen gilt, dass Verwirbelungen 5 immer mit einem  
30 Massentransport einhergehen und somit die turbulente Leitfähigkeit relativ zur thermischen Leitfähigkeit erhöhen, die unter laminaren Flussbedingungen gemessen werden. Dadurch ermöglicht eine Flüssigmetallanode 2 mit einem erfindungsgemäßen Elektronenfenster 1 höhere  
35 Elektronenstromleistungen. Diese Eigenschaft ist insbesondere bei der industriellen zerstörungsfreien Analyse wichtig, um

DTS München  
19.03.2004

32017.YXL.P100DE

Br/sc/kl

die Messzeit für die Untersuchung einer Reihe von Objekten zu  
reduzieren.

### Bezugszeichenliste

1	Elektronenfenster
2	Flüssigmetallanode
3	Elektronenstrahl
4	Membran, insbesondere Metallfolie
5	Verwirbelung
6	Flussrichtung
7	Flussgeschwindigkeitsvektor
8	Erwärmter Bereich
9	Leitung
10	Erhebung
11	Vertiefung
12	Rippe
13	Verbindungsflanke
14	Virtuelle Gitterstruktur
15	Plane Metallfolie

### Patentansprüche

- 5 1. Elektronenfenster (1) für eine Flüssigmetallanode (2) in der Form einer Membran (4), dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (4) Erhebungen (10) und Vertiefungen (11) aufweist.
- 10 2. Elektronenfenster (1) nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (4) aus einer Metallfolie, einem Diamantfilm, einem keramischen Werkstoff oder einem Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid, besteht.
- 15 3. Elektronenfenster (1) nach Patentanspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass es eben ausgebildet ist und auf seiner zur Flüssigkeit hin gewandten Fläche eindimensionale oder zweidimensionale Rippen (12) als Erhebungen (10) aufweist und die Räume dazwischen  
20 Vertiefungen (11) sind.
4. Elektronenfenster (1) nach Patentanspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass es eine Prägestruktur aufweist und sowohl die Erhebungen (10) als auch die Vertiefungen (11) Teilflächen sind, die über Verbindungsflanken (13) miteinander verbunden sind.
- 30 5. Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen (11) und/oder die Erhebungen (10) in einer virtuellen regelmäßigen Gitterstruktur (14) angeordnet sind.
- 35 6. Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen (11) und/oder die Erhebungen (10) als

polygonale Einheiten, insbesondere quadratische oder hexagonale Einheiten, ausgebildet sind.

- 5 7. Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es gebogen ausgebildet ist, insbesondere wie ein Ausschnitt eines Zylindermantels.
- 10 8. Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen (11) und/oder die Erhebungen (10) eine Höhe im Bereich von 10 bis 250 µm, bevorzugt 50µm, haben und die Membrane (4) eine Dicke von 5 bis 50 µm, bevorzugt 20µm, aufweist.
- 15 9. Flüssigmetallanode (2) mit einer Pumpe, einer Kühlung, einer Leitung (9) und einem Flüssigmetall, das mittels der Pumpe durch die Leitung (9) pumpbar ist, wobei in der Leitung (9) einen Anodenmodul angeordnet ist, in  
20 welches ein Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche eingesetzt ist.
10. Flüssigmetallanode (2) nach Patentanspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektronenfenster (1) so in die Leitung (9) eingesetzt ist, dass die Erhebungen (10) zum Inneren der Leitung (9) weisen und mit dem Flüssigmetall in Kontakt sind.
- 30 11. Röntgenstrahler mit einer Elektronenquelle zur Emission von Elektronen und einem beim Auftreffen der Elektronen Röntgenstrahlen emittierenden Flüssigmetallanode (2) nach einem der Patentansprüche 9 oder 10.
- 35 12. Verfahren zum Betrieb eines Röntgenstrahlers mit einer Flüssigmetallanode (2) bei dem während der Erzeugung von Röntgenstrahlung im Fluss des Flüssigmetalls unterhalb

des Elektronenfensters (1) verstärkte Verwirbelungen (5) erzeugt werden.

- 5 13. Verfahren nach Patentanspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Verwirbelungen (5) an den Erhebungen (10) des Elektronenfensters (1) erzeugt werden.

### Zusammenfassung

Die Erfindung befasst sich mit einem Elektronenfenster 1 für eine Flüssigmetallanode 2 in der Form einer Membran 4.

- 5 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Elektronenfenster 1 Erhebungen 10 und Vertiefungen 11 aufweist. Darüber hinaus befasst sich die Erfindung mit einer Flüssigmetallanode 2, in die ein solches erfindungsgemäßes Elektronenfenster 1 eingesetzt ist. Außerdem befasst sich die Erfindung mit einem
- 10 Röntgenstrahler, der eine erfindungsgemäße Flüssigmetallanode 2 aufweist. Des weiteren befasst sich die Erfindung mit einem Verfahren zum Betrieb einer Flüssigmetallanode 2, bei dem während der Erzeugung von Röntgenstrahlung im Fluss des Flüssigmetalls unterhalb des Elektronenfensters 1 verstärkte
- 15 Verwirbelungen 5 erzeugt werden.

(Fig. 4)



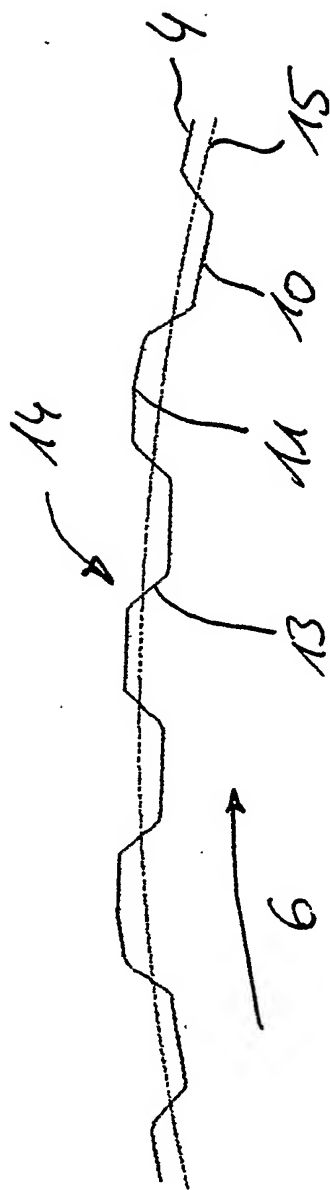


Fig. 1

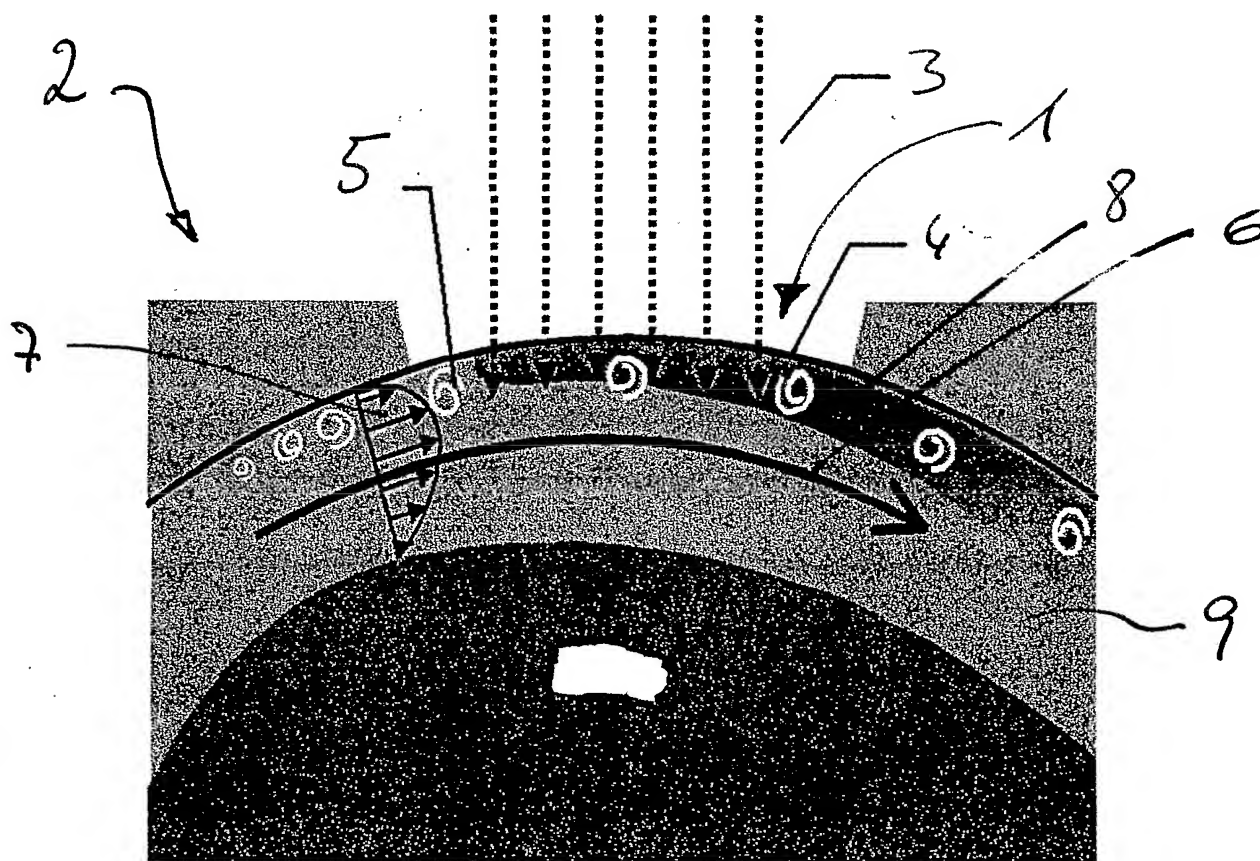


Fig. 2

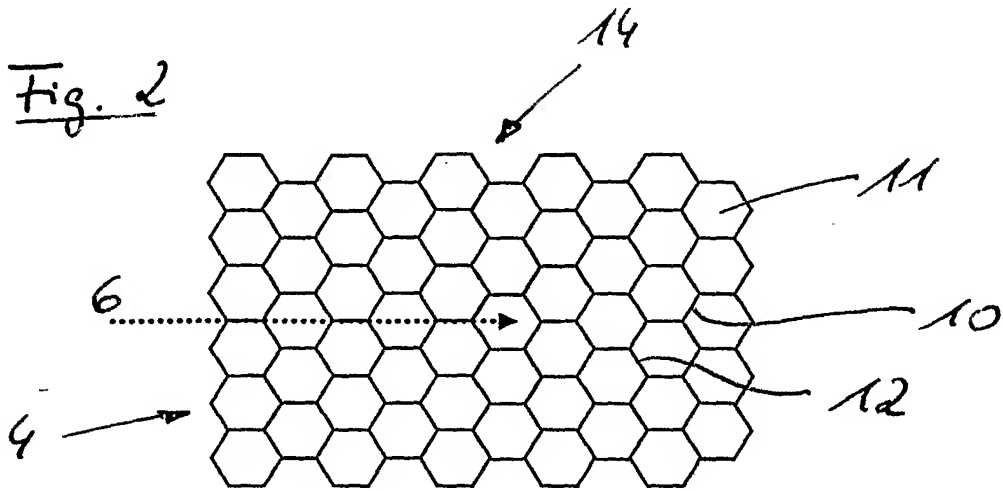


Fig. 3

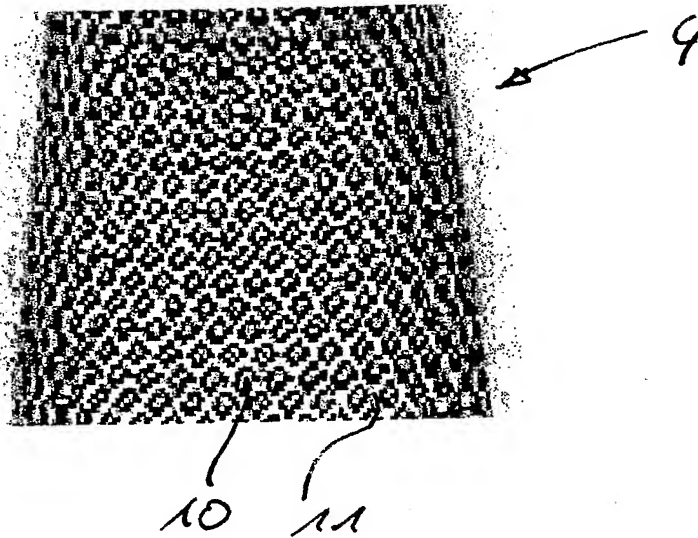


Fig. 4

